转 Bt 基因水稻对二化螟绒茧蜂生物学特性的影响

姜永厚[1], 傅　强[2], 程家安[1*], 叶恭银[1], 白耀羽[1], 张志涛[2]
(1. 浙江大学应用昆虫学研究所, 杭州　310029; 2. 中国水稻研究所农业部水稻生物学重点实验室, 杭州　310006)

摘要: 用转 Bt 基因 (*cry1Ab*) 水稻 KMD1 饲喂 3 龄、4 龄和 5 龄二化螟 *Chilo suppressalis* 一定时间后, 作为二化螟绒茧蜂 *Apanteles chilonis* 的寄主, 研究了转基因水稻经寄主对绒茧蜂生物学特性的影响。结果发现: KMD1 处理后, 三个龄期幼虫的寄生率都显著下降, 其中 4 龄和 5 龄达极显著水平; 3 龄和 4 龄上的结茧率显著低于对照; 蜂蛹历期均短于对照, 但仅 3 龄差异显著; 从 5 龄幼虫所羽化的雄蜂寿命显著短于对照; 蜂茧长显著短于对照; 而对卵 + 幼虫期、茧块茧数、蜂羽化率及性比均无显著影响。

关键词: 转 Bt 基因水稻; 二化螟绒茧蜂; 二化螟; 生物学特性
中图分类号: Q968　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 0454-6296(2004)01-0124-06

Effects of transgenic Bt rice on the biological characteristics of *Apanteles chilonis* (Munakata) (Hymenoptera: Braconidae)

JIANG Yong-Hou[1], FU Qiang[2], CHENG Jia-An[1*], YE Gong-Yin[1], BAI Yao-Yu[1], ZHANG Zhi-Tao[2] (1. Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China)

Abstract: Effects of rice transformed with *cry1Ab* (KMD1) on the biological characteristics of a parasitoid *Apanteles chilonis* (Munakata) through its host *Chilo suppressalis* were studied in the laboratory, using the 3rd, 4th and 5th instar larvae of *C. suppressalis* fed on the transgenic rice for a given time as hosts. The results showed that parasitized rates of host larvae fed on KMD1 were significantly (3rd instar) or very significantly (4th and 5th instar) lower than those of the control. Percentages of cocoon formation for hosts fed on KMD1 significantly reduced for the 3rd and 4th instar. Developmental period of the parasitoid pupa from hosts (3rd instar) fed on KMD1 was significantly shorter. Longevity of the male wasp from the 5th instar larva fed on KMD1 was significantly shorter. Length of wasp cocoon of KMD1 treatment was significantly shorter than the control. But no significant differences were detected in the developmental period of egg to larva, cocoon mass size, wasp emergence rate and sex ratio of the parasitoid between KMD1 treatment and the control.

Key words: Transgenic Bt rice; *Apanteles chilonis*; *Chilo suppressalis*; biological characteristics

水稻是世界主要粮食作物, 全球约有 25 亿人以稻米为主食。水稻也是受虫害侵袭最为严重的粮食作物之一, 每年为控制虫害造成的损失, 大量使用化学杀虫剂, 不仅提高了生产成本, 且造成生态环境的恶化, 对人畜产生严重危害(朱桢, 2001)。现代植物基因工程技术的发展为水稻害虫防治提供了新的重要途径。国内外已有不少将苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis* (Bt) 杀虫蛋白基因如 *cry1Ab*、*cry1Ac* 等导入水稻获得转基因抗虫水稻的报道, 但由于对种植转基因水稻的生态风险尚缺乏了解, 至今没有商业化应用的实例。

在农作物生态系统中, 天敌在调节害虫种群动态中发挥着重要作用(Schuler *et al.*, 1999b)。转基因抗虫植物在控制害虫的同时, 是否对天敌产生不利影响, 是推广转基因植物的潜在生态风险之一, 已成为近几年的研究热点。国内外许多研究者对此进行了研究, 主要集中在玉米、棉花、马铃薯、烟草、油菜等作物上, 多数研究未发现取食了转基因植物的猎物或寄主对其天敌有不利影响(Johnson and Gould, 1992; Dogan *et al.*, 1996; Pilcher *et al.*,

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(001CB109004); 国家自然科学基金项目(30070500)
作者简介: 姜永厚, 男, 1971 年生, 江苏赣榆人, 在读博士生, 研究方向为昆虫生理生态及生物安全, E-mail: yonghoujiang@vip.sina.com
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: jacheng@zju.edu.cn
收稿日期 Received: 2003-03-05; 接受日期 Accepted: 2003-08-13

1997; Schuler *et al*., 1999a, 1999b, 2001; Bell *et al*., 1999; Armer *et al*., 2000; Ak-Deeb *et al*., 2001; Ferry *et al*., 2003;刘志诚等,2003),但亦有一些研究报道了转基因植物对天敌有不利影响(Hilbeck *et al*., 1998a, 1998b, 1999; Birch *et al*., 1999;崔金杰和夏敬源,1999;Sétamou *et al*., 2002; Dutton *et al*., 2002;邓曙东等,2003)。Bernal 等(2002)研究了转基因水稻对黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 的影响,结果表明尽管其猎物褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 蜜露中有 Bt 蛋白,但并未对黑肩绿盲蝽产生不利影响。

二化螟绒茧蜂 *Apanteles chilonis* 是二化螟 *Chilo suppressalis* 幼虫期的一种重要寄生性天敌。一般对二化螟幼虫的寄生率达 10% ~ 30 %左右,最高可达 90%以上(杭杉葆和林冠伦,1989;蒋明星等,1999)。由浙江大学与加拿大渥太华大学合作育成的 Bt 水稻"克螟稻" 对二化螟等 8 种鳞翅目害虫有很强的抗性(舒庆尧等,1998;Shu *et al*., 2000),并于 2000 年获准开始环境释放试验(谢小波和舒庆尧,2001)。为明确转 Bt 基因水稻是否会经二化螟影响寄生蜂,我们以取食转 Bt 基因水稻"克螟稻 1 号"的二化螟幼虫为寄主,研究了 Bt 水稻对二化螟绒茧蜂一些生物学特性的影响。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　供试水稻品种：　转 Bt 基因(*cry1Ab*) 水稻"克螟稻 1 号"(KMD1)由浙江大学和加拿大渥太华大学合作培育,其亲本材料为粳稻品种秀水 11。

1.1.2　供试虫源：　(1)二化螟采自中国水稻研究所科研基地试验田。自试验田收集越冬代老熟幼虫化蛹、羽化,或用灯诱法诱集成虫带回室内,饲以 10%蜂蜜水,让其在稻苗上产卵,收集卵块,待其孵化后,用尚稚珍等(1979)的水稻种苗饲养法进行饲养,建立实验室种群。(2)二化螟绒茧蜂来源于试验田收集的被寄生的越冬二化螟老熟幼虫,出蜂后,经雌雄配对,以 10% 的蜂蜜水进行饲养,繁育后代。(3)饲养条件：试验中二化螟及二化螟绒茧蜂均饲养在温度为(27 ± 2)℃,相对湿度为 75% ± 5%,光周期为 16L: 8D 的养虫室中。

1.2　二化螟幼虫的处理

将粗细相同的分蘖期 KMD1 茎秆一段(10 cm),置于 2 cm × 15 cm 试管中,基部用湿棉球保湿,作为供饲食料。处理时,每试管中分别接入二化螟 3 龄、4 龄或 5 龄幼虫 2 头,根据预备试验所得各龄二化螟幼虫死亡率为 50%时的取食时间,分别取食 10、16 和 36 h。以亲本材料秀水 11 为供饲食料,同样处理对照幼虫。

1.3　二化螟绒茧蜂的寄生与饲养、观察

将各处理的二化螟幼虫从茎杆中剥出,单头移入放有一对羽化后 12 h 内雌雄蜂的试管(2 cm × 15 cm)中,6 h 后将幼虫移入装有秀水 11 种苗的试管(2 cm × 15 cm)中饲养,每个龄期重复 5 ~ 6 次,每次重复处理 30 头左右。每 3 天换种苗,同时记载二化螟的存活情况,根据绒茧蜂的发育历期,在接近蜂幼虫啮出结茧时至蜂死亡,每天调查结茧、出蜂等情况,出蜂后即饲喂 10%蜜水,并在解剖镜下解剖期间死亡的二化螟,观察有无蜂幼虫,记录出茧时间、茧块茧数和性别,统计蛹历期、蜂羽化率、性比、雌雄蜂寿命。茧块及死亡的蜂保留备用。测量时,将蜂和茧用 70%酒精浸泡 2 ~ 3 min,使翅充分平展,然后在 Leica MZ APO 解剖镜下测量雌雄蜂前翅长和茧长,精确至 0.05 mm,每一茧块羽化的蜂测量 15 头左右,每茧块测量大约 15 个茧,少于 15 个茧的茧块全部测量。

1.4　数据分析

所有数据的整理和分析均用微软的 Excel 2000 软件和唐启义和冯明光(2002)的 DPS 数据处理软件进行。其中,百分数均通过反正弦平方根转换后,再进行二因素(品种,龄期)方差分析。因各处理数据的不平衡,对各龄期的品种间比较用 t 测验。

2　结果与分析

2.1　对二化螟绒茧蜂寄生率和结茧率的影响

二化螟绒茧蜂寄生取食 KMD1 一定时间的二化螟后,其寄生率和结茧率如图 1。KMD1 处理后三个龄期二化螟幼虫的寄生率分别为 29.6%,30.0%和 39.7%,显著低于对照的寄生率,其中 4 龄和 5 龄幼虫寄生率的差异达极显著水平;KMD1 处理后三个龄期的结茧率亦皆低于对照,3 龄的结茧率仅 14.6%,约为对照的 50%(28.6%),3 龄和 4 龄的结茧率差异均达显著水平。方差分析结果表明龄期对寄生率有极显著影响($F = 5.83$, $P < 0.01$),寄生时虫龄越低,寄生率越低。而对结茧率影响不显著($F = 2.01$, $P > 0.05$);品种对寄生率和结茧率均有极显著影响($P < 0.01$);但品种和龄期处理对寄生率

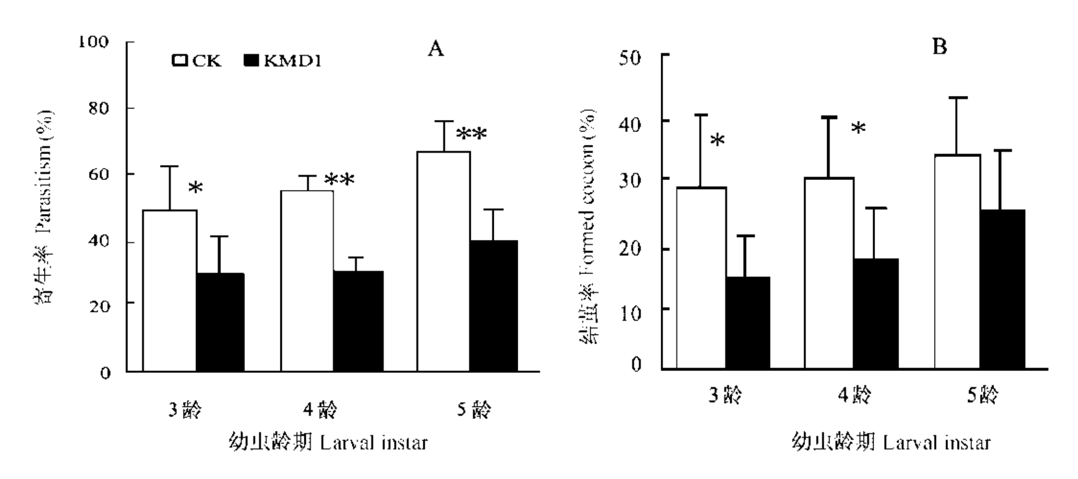


图 1 二化螟绒茧蜂在取食 KMD1 的不同龄期二化螟幼虫上的寄生率(A)和结茧率(B)(平均数 ± 标准差)

Fig.1 Parasitism (A) and the rate of cocoon formation (B) of *Apanteles chilonis* on different instars of *Chilo suppressalis* reared with Bt rice plant, KMD1 (mean ± *SD*)

*, ** 分别表示同一龄期比较差异显著($P \leq 0.05$)和极显著($P \leq 0.01$)

*, ** Indicating significant differences at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ level respectively.

和结茧率均无互作效应($P > 0.05$)。

2.2 对二化螟绒茧发育历期和成蜂寿命的影响

方差分析结果表明,寄生在取食 KMD1 的二化螟幼虫体内的二化螟绒茧蜂卵 + 幼虫历期与对照无明显差异($F = 0.42$, $P = 0.52$)。但寄生于取食 KMD1 的二化螟 3 龄幼虫的蜂蛹历期和寄生于取食 KMD1 的二化螟 5 龄幼虫所羽化的雄蜂寿命显著短于对照(表 1)。

2.3 对二化螟绒茧蜂茧块茧数、蜂羽化率、性比、翅长及茧长的影响

在以 KMD1 为食的二化螟各龄幼虫上的寄生蜂幼虫所产生的茧块茧数和性比与对照均无明显差异;寄生于各龄幼虫的羽化率虽均低于对照,但都未达显著水平;各个龄期 KMD1 处理组的雌蜂和雄蜂前翅长均略小于对照,但未达显著水平。寄生于取食 KMD1 二化螟幼虫的蜂其茧长短于对照,其中寄生 3 龄和 5 龄的达显著水平(表 2)。

表 1 KMD1 经二化螟对二化螟绒茧蜂发育历期和成蜂寿命的影响

Table 1 Effects of KMD1 via *C. suppressalis* on developmental duration and adult longevity of *Apanteles chilonis*

参数 Parameter	寄主龄期 Host instar					
	3 龄 3rd instar		4 龄 4th instar		5 龄 5th instar	
	KMD1	对照 CK	KMD1	对照 CK	KMD1	对照 CK
卵 + 幼虫历期(d) Egg & larval duration	12.3 ± 2.28 a	12.1 ± 2.37 a	11.5 ± 1.82 a	11.5 ± 1.94 a	11.0 ± 1.56 a	10.7 ± 1.27 a
蛹期(d) Pupal duration	4.7 ± 0.85 a	5.2 ± 0.93 b	4.8 ± 0.57 a	5.1 ± 0.66 a	4.9 ± 0.69 a	4.8 ± 0.88 a
雄蜂寿命(d) Male longevity	2.1 ± 1.19 a	2.2 ± 0.73 a	2.3 ± 1.19 a	2.0 ± 0.82 a	1.9 ± 0.76 a	2.4 ± 1.02 b
雌蜂寿命(d) Female longevity	1.8 ± 0.89 a	2.1 ± 0.08 a	2.2 ± 1.03 a	2.2 ± 1.04 a	1.8 ± 0.93 a	2.0 ± 1.17 a

注 Note: 表中数据是平均数 ± 标准差,数据后有不同字母表示差异显著($P < 0.05$),后同。

The data are mean ± *SD*, and those followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$. The same for the following table.

表 2　KMD1 经二化螟对二化螟绒茧蜂每茧块茧数、羽化率、性比、前翅长和茧长的影响

Table 2　Impacts of KMD1 via *C*. *suppressalis* on number of cocoons per cocoon mass, emergence rate, female rate, and length of forewing and cocoon of *Apanteles chilonis*

参数 Parameter	寄主龄期 Host instar					
	3 龄 3rd instar		4 龄 4th instar		5 龄 5th instar	
	KMD1	对照 CK	KMD1	对照 CK	KMD1	对照 CK
茧数/茧块（个） Number of cocoons per cocoon mass	20.3 ± 11.9 a	19.2 ± 9.1 a	16.6 ± 9.5 a	20.0 ± 8.4 a	27.2 ± 11.8 a	27.7 ± 13.7 a
羽化率（%） Emergence rate	75 ± 22 a	83 ± 19 a	75 ± 28 a	77 ± 25 a	79 ± 23 a	81 ± 23 a
雌性率（%） Female rate	70 ± 25 a	66 ± 20 a	73 ± 19 a	72 ± 20 a	64 ± 27 a	64 ± 23 a
雌蜂前翅长（mm） Forewing length of female	1.60 ± 0.10 a	1.65 ± 0.11 a	1.64 ± 0.12 a	1.70 ± 0.11 a	1.63 ± 0.12 a	1.66 ± 0.09 a
雄蜂前翅长（mm） Forewing length of male	1.73 ± 0.06 a	1.76 ± 0.11 a	1.74 ± 0.13 a	1.81 ± 0.12 a	1.76 ± 0.12 a	1.80 ± 0.10 a
茧长（mm） Length of cocoon	2.61 ± 0.17 a	2.78 ± 0.21 b	2.68 ± 0.20 a	2.72 ± 0.21 a	2.68 ± 0.24 a	2.80 ± 0.25 b

3　讨论

在作物生态系中存在许多天敌生物，它们以害虫为猎物，或为寄主。转基因作物在对靶标害虫和非靶标害虫直接作用的同时，也可能通过食物链的传递而影响到居于营养级上层的天敌（Hilbeck *et al*.，1998a，1998b，1999）。因此，商业化种植转基因植物是否会影响作物生态系中天敌的种类和数量已经成为各国科学家关注的焦点（Wolfeenbarger and Phifer，2000；Poppy，2000）。

崔金杰和夏敬源（1999）将棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* 和侧沟绿茧蜂 *Micoplitis* sp. 寄生取食 Bt 棉和对照棉的棉铃虫，结果发现寄生取食 Bt 棉棉铃虫的两种寄生蜂的寄生率、羽化率、蜂茧重和蜂重均明显低于寄生取食对照棉的。而 Schuler 等（1999）研究发现转 Bt 基因油菜对小菜蛾绒茧蜂 *Cotesia plutellae* 成虫行为和幼虫存活无不良影响。类似的有，以用转 GNA 基因马铃薯叶片饲喂的番茄夜蛾 *Lacanobia oleracea* 幼虫为寄主，对长角姬小蜂 *Eulophus pennicornis* 的寄生率及其后代的体型大小、怀卵量和寿命等均无不良影响（Bell *et al*.，1999）。

本试验中，二化螟绒茧蜂寄生取食转基因水稻的二化螟，其结茧率和寄生率均显著低于对照，对寄生蜂的大小也有一定影响，蜂的茧长和前翅长均小于对照，这与崔金杰等的研究结果类似；而对发育历期、茧块茧数、蜂羽化率、性比等均无显著不利影响；且龄期与转基因水稻也不存在互作效应。

转基因植物主要通过两种途径对天敌产生影响，一是对天敌可能有直接毒性，但至今还没有证据（Pilcher *et al*.，1997；Armer *et al*.，2000）；另一个是通过对寄主的影响（如营养质量的改变）间接地影响天敌，如改变天敌的寄主识别、寄主发现和寄主接受行为（Hilbeck *et al*.，1998b；Schuler *et al*.，1999b；Bell *et al*.，1999）。本试验所用的 KMD1 对二化螟等 8 种鳞翅目害虫有高度抗性，试验通过控制二化螟取食 KMD1 的时间以降低致死效应，然而在二化螟绒茧蜂完成结茧前处理组二化螟幼虫的死亡率仍明显高于对照（未发表资料），因此实验结果中处理组结茧率和寄生率显著低于对照，可能与取食 KMD1 的部分二化螟不能完成生长发育而中毒死亡，体内的寄生蜂也随之死亡有关。一般认为寄生蜂的大小随寄主大小增大而增大（Thompson，1999），本试验对寄生蜂蛹期、雄蜂寿命、茧长和前翅长的影响可能是由于 KMD1 引起寄主二化螟营养质量降低或发育变缓（如个体变小）所致。

Sétamou 等（2002）对转雪花莲凝集素基因（GNA）甘蔗经小蔗杆草螟 *Diatraea saccharalis* 对连续两个世代的盘绒茧蜂 *Cotesia flavipes* 的生物学特性影响研究发现，寄生转基因甘蔗饲喂的小蔗杆草螟所结茧的羽化率两个世代都显著低于对照；对于雌性率和雌蜂寿命，转基因甘蔗处理仅对第二代蜂有

显著影响，均低于对照。本试验仅对绒茧蜂的一个世代进行研究，是否对绒茧蜂的生殖及多个世代产生影响，需进一步研究。植物基因工程技术的发展趋势将是不断地提高杀虫蛋白在植物体内的表达水平（Hilbeck *et al*.，1999），而害虫同样会对杀虫蛋白产生抗性，从而使害虫体内毒蛋白累积增加，以致对天敌昆虫产生更大影响。因此，进一步加强这方面的研究有极其重要的意义。

参 考 文 献（References）

Ak-Deeb MA, Wilde GE, Higgins RA, 2001. No effect of corn and *Bacillus thuringiensis* on the predator *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Environ. Entomol.*, 30(3): 625 – 629.

Armer CA, Berry RE, Kogan M, 2000. Longevity of phytophagous heteropteran predators feeding on transgenic Bt-potato plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95(3): 329 – 333.

Bell HA, Fitches EC, Down RE, Marris GC, Edwards JP, Gatehouse JA, Gatehouse AMR, 1999. The effect of snowdrop lectin (GNA) delivered via artificial diet and transgenic plants on *Eulophus pennicornis* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of the tomato moth *Lacanobia oleracea* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Physiol.*, 45(11): 983 – 991.

Bernal CC, Aguda RM, Cohen MB, 2002. Effect of rice lines transformed with *Bacillus thuringiensis* toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102: 21 – 28.

Birch ANE, Geoghegan IE, Majerus MEN, Nenicol JW, Hackett CA, Gatehouse AMR, Gatehouse JA, 1999. Tri-trophic interactions involving pest aphids, predatory 2-spot ladybirds and transgenic potatoes expressing snowdrop lectin for aphid resistance. *Mol. Breed.*, 5(1): 75 – 83.

Cui JJ, Xia JY, 1999. Effects of transgenic Bt cotton on the population dynamics of natural enemies. *Acta Gossypii Sinica*, 11(2): 84 – 91. [崔金杰，夏敬源，1999. 转 Bt 基因棉对天敌种群动态的影响. 棉花学报，11(2): 84 – 91]

Deng SD, Xu J, Zhang QW, Zhou SW, Xu GJ, 2003. Effect of transgenic Bt on population dynamics of the non-target pests and natural enemies of pests. *Acta Entomologica Sinica*, 46(1): 1 – 5. [邓曙东，徐静，张青文，周世文，徐冠军，2003. 转 Bt 基因棉对非靶标害虫及害虫天敌种群动态的影响. 昆虫学报，46(1): 1 – 5]

Dogan EB, Berry RE, Reed GL, Rossignol PA, 1996. Biological parameters of convergent lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on aphids (Homoptera: Aphididae) on transgenic potato. *J. Econ. Entomol.*, 89(5): 1 105 – 1 108.

Dutton A, Klein H, Romeis J, Bigler F, 2002. Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecol. Entomol.*, 27(4): 441 – 447.

Ferry N, Raemaekers RJM, Majerus MEN, Jouanin L, Port G, Gatehouses JA, Gatehouse AMR, 2003. Impact of oilseed rape expressing the insecticidal cysteine protease inhibitor oryzacystatin on the beneficial predator *Harmonia axyridis* (multicoloured Asian ladybeetle). *Mol. Breed.*, 12(2): 493 – 504.

Hang SB, Lin GL, 1989. Biological characteristics of *Apanteles chilonis* (Hym.: Braconidae), a parasite of *Chilo* sp. (Lep.: Pyralidae). *Chinese J. Biological Control*, 5(1): 16 – 18. [杭杉葆，林冠伦，1989. 二化螟绒茧蜂生物学特性的研究. 生物防治通报，5(1): 16 – 18]

Hilbeck A, Baumgartner M, Fried PM, Bigler F, 1998a. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.*, 27(2): 480 – 487.

Hilbeck A, Moar WJ, Pusztai-Carey M, Filippine A, Bigler F, 1998b. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin to the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.*, 27 (5): 1 255 – 1 263.

Hilbeck A, Moar WJ, Pusztai-Carey M, Filippine A, Bigler F, 1999. Prey-mediated effects of Cry1Ab toxin and protoxin and Cry2A protoxin on the predator *Chrysoperla carnea*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 91(2): 305 – 316.

Jiang MX, Zhu ZR, Zhu JL, Zhu ML, Liao XG, Wang ZJ, Cheng JA, 1999. Study on parasitism of rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*, in different habitats. *Chinese J. Biological Control*, 15(4): 145 – 149. [蒋明星，祝增荣，朱金良，诸茂龙，廖璇刚，王正军，程家安，1999. 不同生境中水稻二化螟的自然寄生情况. 中国生物防治，15(4): 145 – 149]

Johnson MT, Gould F, 1992. Interaction of genetically engineered host plant resistance and natural enemies of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) in tobacco. *Environ. Entomol.*, 21: 586 – 597.

Liu ZC, Ye GY, Hu C, Datta SK, 2003. Impact of transgenic *indica* rice with a fused gene of *cry1Ab/cry1Ac* on the rice paddy arthropod community. *Acta Entomol. Sin.*, 46(4): 454 – 465. [刘志诚，叶恭银，胡萃，Swapan K. DATTA，2003. 转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因籼稻对稻田节肢动物群落影响. 昆虫学报，46(4): 454 – 465]

Pilcher CD, Obrycki JJ, Rice ME, Lewis LC, 1997. Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environ. Entomol.*, 26(2): 446 – 454.

Poppy GM, 2000. GM crops: environmental risks and non-target effects. *Trends in Plant Science*, 5(1): 4 – 6.

Shang ZZ, Wang YS, Zhou YH, 1979. A method of rearing of *Chilo suppressalis*. *Acta Entomologica Sinica*, 22(2): 164 – 167. [尚稚珍，王银淑，邹永华，1979. 二化螟饲养方法的研究. 昆虫学报，22(2): 164 – 167]

Schuler TH, Potting PJ, Denholm I, Poppy GM, 1999a. Parasitoid behaviour and Bacillus *thuringiensis* plants. *Nature*, 400: 825 – 826.

Schuler TH, Poppy GM, Kerry BR, Denholm L, 1999b. Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. *TIBTECH*, 17: 210 – 216.

Schuler TH, Denholm I, Jouanin L, Clark SJ, Clark AJ, Poppy GM, 2001. Population-scale laboratory studies of the effect of transgenic plants on non-target insect. *Mol. Ecol.*, 10(7): 1 845 – 1 853.

Sétamou M, Bernal JS, Legaspi JC, Mirkov TE, 2002. Effects of snowdrop

lectin (*Galanthus nivalis* Agglutinin) expressed in transgenic sugarcane on fitness of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of the non-target pest *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 95(1): 75 – 83.

Shu QY, Ye GY, Cui HR, Xiang YB, Gao MW, 1998. Development of transgenic *Bacillus thuringiensis* rice resistant to rice stem borers and leaf folders. *J. Zhejiang Agric. Univ.*, 24: 579 – 580. [舒庆尧，叶恭银，崔海瑞，夏英武，高明尉，1998. 转基因水稻"克螟稻"选育. 浙江农业大学学报，24(6): 579 – 580]

Shu QY, Ye GY, Cui HR, Cheng XY, Xiang YB, Wu DX, Gao MW, Xia YW, Hu C, Sardana R, Altosaar I, 2000. Transgenic rice plants with a synthetic cry1Ab gene from *Bacillus thuringiensis* were highly resistant to eight lepidopteran rice pest species. *Mol. Breeding*, 6(4): 433 – 439.

Tang QL, Feng MG, 2002. DPS© data Processing System for Practical Statistics. Beijing: China Science Press. 33 – 59. [唐启义，冯明光，2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京：科学出版社. 33 – 59]

Thompson SN, 1999. Nutrition and culture of entomophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 44: 561 – 592.

Wolfeenbarger LL, Phifer PR, 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, 290(15): 2 088 – 2 093.

Xie XB, Shu QY, 2001. Studies on rapid quantitative analysis of Bt toxin by using Envirologix kits in transgenic rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 34(5): 465 – 468. [谢小波，舒庆尧，2001. 用 Envirologix CryIAb/CryIAc 试剂盒快速测定转基因水稻 Bt 杀虫蛋白含量的研究. 中国农业科学，34(5): 465 – 468]

Zhu Z, 2000. Research and development of highly insect-resistant transgenic rice. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 16(5): 353 – 357. [朱祯，2001. 高效抗虫转基因水稻的研究与开发. 中国科学院院刊，16(5): 353 – 357]

（责任编辑：袁德成）